

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-155744

(43)Date of publication of application : 18.06.1996

(51)Int.CI.

B23H 7/06  
B23H 7/02

(21)Application number : 06-334704

(71)Applicant : SODICK CO LTD

(22)Date of filing : 07.12.1994

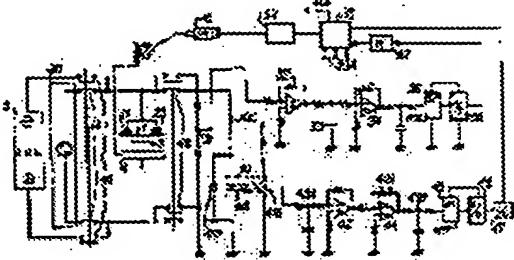
(72)Inventor : KANEKO YUJI  
TOYONAGA TATSUO

## (54) WIRE ELECTRIC DISCHARGE MACHINING METHOD

### (57)Abstract:

PURPOSE: To carry out desired finishing for imparting surface roughness without any sacrifice of dimensions and shape accuracy by changing to the high frequency AC voltage source of a prescribed processing condition, selecting a decelerating servo control system, and changing its proportional gain lower than at the time of an intermediate finishing process.

CONSTITUTION: In finishing by a high frequency AC voltage source 30, it is essential to minimize the floating capacity of a processing circuit part. For this purpose, processing power supply circuit part, a voltage pulse source 5 or a voltage pulse supply circuit which is not used in a finishing process is cut off by an opening/closing switch 49. The discharging condition detection circuits 31-37 of a discharging gap used as the signals of control of processing power supply, servo feed control of processing and so on are changed over to discharging condition detection circuits 41-47 with little capacitance taken into consideration by an opening and closing switch 48. At this time, proportional gain of servo control is lower than at the time of an intermediate finishing process.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 29.06.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 432311567

[Date of registration] 14.09.2001

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 特許公報 (B2)

(11)特許番号

特許第3231567号

(P3231567)

(45)発行日 平成13年11月26日(2001.11.26)

(24)登録日 平成13年9月14日(2001.9.14)

(51)Int.Cl.

B23H 7/06  
7/02

識別記号

F I

B23H 7/06  
7/02

C  
R

請求項の数3(全13頁)

(21)出願番号

特願平6-334704

(22)出願日

平成6年12月7日(1994.12.7)

(65)公開番号

特開平8-155744

(43)公開日

平成8年6月18日(1996.6.18)

審査請求日

平成11年6月29日(1999.6.29)

(73)特許権者

000132725

株式会社ソディック  
神奈川県横浜市都筑区仲町台3丁目12番  
1号

(72)発明者

金子 雄二

神奈川県横浜市都筑区仲町台3丁目12番  
1号 株式会社ソディック技術研修セン  
ター内

(72)発明者

豊永 竜生

神奈川県横浜市都筑区仲町台3丁目12番  
1号 株式会社ソディック技術研修セン  
ター内

審査官 福島 和幸

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 ワイヤ放電加工方法

1 (57)【特許請求の範囲】

【請求項1】 一対の間隔を置いて配置したガイド間に所定の状態に張架したワイヤ電極を軸方向に更新送り移動せしめつつ前記軸方向と略直角方向から被加工体を微小間隙を介して相対向せしめ、該間隙に加工液を供給介在させた状態で両者間に間歇的な電圧パルスを印加し発生する放電パルスにより加工を行ない、前記ワイヤ電極と被加工体間に前記直角方向の平面上における所定の加工形成すべき輪郭形状に沿う相対的加工送りを与えるワイヤ放電加工において、

前記のワイヤ放電加工を、(a)前記の電圧パルスとして、直流電圧源に直列に接続した電子スイッチ素子をオン・オフすることによって得られる休止時間を有する間歇的な電圧パルスを用い、使用する加工液、電極、被加工体の材質組合せ、板厚、及び加工の目的等に応じて設

2

定された加工条件で、かつ前記加工送りのサーボ制御方式を送り速度が放電間隙電圧に比例し、設定サーボ基準電圧に対する間隙電圧の偏差零のとき送り速度が零となって送り方向が反転するゼロメソッドサーボ制御方式として前記輪郭線形状の加工溝を最初に加工形成するファーストカット加工工程と、(b)前記ファーストカット加工後、前記設定加工条件をセカンドカット、及びサードカット等の1又は複数の加工工程の加工条件に順次に切換えると共に、前記加工送りのサーボ制御方式を送り速度が放電間隙電圧に比例し、設定サーボ基準電圧に対する前記放電間隙の電圧偏差零のとき設定加工条件の加工速度に応ずる送り速度が設定される減速サーボ制御方式に切換えて所定の寸法・形状精度、及び面粗度出しの加工をする中仕上げ加工工程と、(c)前記中仕上げ加工後、前記電圧パルスを前記電圧パルス供給源と放電間

隙との間に挿設した高周波結合トランスによる電流バルス→交流電圧変換によって得られる所定加工条件の高周波交流電圧源に切換えると共にサーボ制御方式を前記減速サーボ制御方式に選定し、かつそのサーボ制御の比例ゲインを前記中仕上げ加工の際の比例ゲインに対して低く切換えて所定の寸法・形状精度及び面粗度出しの加工をする仕上げ加工工程と、を順次に行なうようにしたことを特徴とするワイヤ放電加工方法。

【請求項2】 前記ファーストカット加工工程及び中仕上げ加工工程における直流電源をスイッチ素子によりオン・オフすることにより得られる休止時間を有する間歇的な電圧バルス源が、直流電圧源をスイッチ素子のオン・オフにより電圧バルスを形成する直列回路中に所定の電流制限抵抗を挿設した通常型電圧バルス供給回路と、直流電圧源をスイッチ素子のオン・オフにより電圧バルスを形成する直列回路中に電流制限抵抗が挿設されていない、又は電流検出用等の小抵抗以外の電流制限抵抗が挿設されていない無抵抗の電圧バルス供給回路とを並設すると共に、該電圧バルス供給回路のスイッチ素子が前記通常型電圧バルス供給回路の放電間隙印加電圧バルスにより放電が開始したのを検出して所定時間幅のオン制御させられるものであることを特徴とする前記請求項1に記載のワイヤ放電加工方法。

【請求項3】 前記高周波結合トランスの2次巻線から放電間隙へ高周波交流電圧を出力供給するために、前記トランスの1次巻線に供給される休止時間を有する間歇的な電圧バルスが前記無抵抗の電圧バルス供給回路から供給されるように切換接続及び制御されるものであることを特徴とする前記請求項2に記載のワイヤ放電加工方法。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、ワイヤ放電加工方法、特に該ワイヤ放電加工による荒加工（ファーストカット加工）から、所望の仕上げ加工まで、かつ優れた加工面粗さ（より小さい加工面粗さ）の、又更には所定の寸法・形状精度に仕上げることができる加工方法、及び該加工方法の実施に好適な加工送りのサーボ制御方式並びにその切換え使用に関する。

##### 【0002】

【従来の技術】 本発明者等は、荒加工から仕上げ加工までの一連のワイヤ放電加工の加工効率を向上させるために、特に仕上げ加工用の電源として、後述するような或る特定の高周波交流電圧源を用いたり、荒加工（ファーストカット加工）後の仕上げ加工のために、被加工体の寸法・形状精度出し及び所定面粗度改善のセカンドカット加工、またはセカンドカット及びサードカット加工等の所望複数段の加工の際に、加工送りサーボ制御方式を、前記ファーストカットの加工工程ではサーボ基準電圧に対する放電間隙電圧の偏差零のとき送り速度が零と

なり送り方向が反転する所謂ゼロメソッドサーボ制御方式を選定使用するのに対し、前記セカンドカット加工工程以後の前記仕上げ加工を含む加工工程では、送り速度が放電加工間隙電圧に比例し、サーボ基準電圧に対する放電間隙の電圧偏差零のとき設定加工条件（主として加工電圧又は放電バルス等の条件）による加工速度に符合する実験値の加工送り速度が設定される減速サーボ制御方式に選定切換えて加工を行なうこと等を下記の特許出願で提案した。

10 [出願日] 平成6年3月23日  
 [出願番号] 平成6年特許願第92836号  
 [発明の名称] ワイヤ放電加工方法及びワイヤ放電加工用電源回路

##### 【0003】

【発明が解決しようとする課題】 而して、上記発明後、電源やサーボ送りの設定や調整、及び加工方法に付き改良を重ね来たが、後で詳しく説明する上記減速サーボ制御方式を加工送りの制御方式として採用しているファーストカット加工工程後のセカンドカット等の寸法・形状精度出し及び加工面粗度出しの直流電源をスイッチ素子のオン・オフすることにより得られる休止時間を置いた間歇的な電圧バルスを加工電源とする加工工程と、前記寸法・形状精度出しと加工面粗度を所望に仕上げる高周波交流電圧源による仕上げ又は最終仕上げ加工とでは、加工送りのサーボ制御方式として同じ減速サーボ制御方式を採用していても、加工条件、特に水系加工液の特性に変化があると整合せず、上記セカンドカット等の加工工程迄で、所定の形状・寸法精度及び加工面粗度出しが行われていても、次の仕上げ又は最終仕上げ加工でかえって寸法・形状精度を損なうと言うことが少なくなかった。

20 [0004] 特に、当該ワイヤ放電加工に常用の上記水系加工液に於ける、例えばイオン交換樹脂の寿命等による水質（特に比抵抗値、又は伝導度）の変化や加工間隙部分に於ける加工液流通の不整等による加工屑濃度の部分的な変化等が加工間隙内加工液の部分的比抵抗変化として作用するようになると、加工電源、即ち高周波交流電圧源の出力による放電間隙の無負荷電圧に変動が生じ、放電間隙に接続した検出回路からの検出サーボデータ又は信号に、前記設定されている実験値に準処したデータ又は信号とズレを生じ、加工状態が変化して加工の寸法・形状精度を大きく損なうと言う欠点があった。

40 [0005] 例えば、前記高周波交流電圧源による仕上げ加工時に、加工液の比抵抗値が所定値よりも低下する変化が生じていると放電間隙の電圧が見掛上低下しているので、加工送りのサーボ制御方式として、前段のセカンドカット加工等の寸法・形状精度出しの中仕上げの加工の際に用いた前述の送り速度が放電間隙電圧に比例し、サーボ基準電圧に対する放電間隙の電圧偏差零のときほぼ設定加工条件による加工速度に符合する実験値の

加工送り速度が設定される減速サーボ制御方式のものをそのまま用いると、加工送り速度が極端に低下するのに對し、加工量（加工速度又は加工電源の加工能力）はそれ程低下している訳ではないので、加工量過多となり、ポンチ切抜き加工では寸法・形状が所定値より小さく、又逆にダイの穴の寸法・形状が所定値よりも大きく加工されて、所望に仕上がらないと言う結果を招來する。

【0006】又、上記の場合のセカンドカット加工工程時の減速サーボ制御方式に代えて、従来より仕上げ加工では多く慣用の一定速度サーボ制御方式（上記減速サーボ制御方式の場合の設定加工条件に符合する実験値の加工送り速度の一定の送り速度として、間隙電圧が上記サーボ電圧よりも充分低い所定値以下、又は間隙短絡で、短絡又は間隙回復の後退作動をするサーボ制御方式）を採用すると、加工送り速度が一定であるにもかかわらず、放電間隙に供給される前記高周波交流電圧源による放電エネルギーが放電間隙の放電部以外の部分へ分流する割合が多くなっているため、加工量が過少となり、ポンチ切抜き加工では寸法・形状が所定値よりも大きく、又逆にダイの加工ではダイの穴の寸法・形状が所定値よりも小さく加工されて所望に仕上がらないのである。

【0007】そこで、本発明は、高周波交流電圧源による仕上げ加工又は最終仕上げ加工の際に加工液の比抵抗等の性状変化等が或る程度生じていても、目的に対して許容可能な程度に仕上がる加工が可能なサーボ制御方式を開発すること、及びその開発されたサーボ制御方式に高周波交流電圧源による仕上げ加工の際に切換える一連のワイヤ放電加工方法を提供することを目的とする。

#### 【0008】

【問題を解決するための手段】一対の間隔を置いて配置したガイド間に所定の状態に張架したワイヤ電極を軸方向に更新送り移動せしめつつ前記軸方向と略直角方向から被加工体を微小間隙を介して相対向せしめ、該間隙に加工液供給介在させた状態で両者間に間歇的な電圧パルスを印加し発生する放電パルスにより加工を行ない、前記ワイヤ電極と被加工体間に前記直角方向の平面上における所定の加工形成すべき輪郭形状に沿う相対的加工送りを与えるワイヤ放電加工において、前記のワイヤ放電加工を、（a）前記の電圧パルスとして、直流電圧源に直列に接続した電子スイッチ素子をオン・オフすることによって得られる休止時間を有する間歇的な電圧パルスを用い、使用する加工液、電極、被加工体の材質組合せ、板厚、及び加工の目的等に応じて設定された加工条件で、かつ前記加工送りのサーボ制御方式を送り速度が放電間隙電圧に比例し、設定サーボ基準電圧に対する間隙電圧の偏差零のとき送り速度が零となって送り方向が反転するゼロメソッドサーボ制御方式として前記輪郭線形状の加工溝を最初に加工形成するファーストカット加工工程と、（b）前記ファーストカット加工後、前記設定加工条件をセカンドカット、及びサードカット等の150

又は複数の加工工程の加工条件に順次に切換えると共に、前記加工送りのサーボ制御方式を送り速度が放電間隙電圧に比例し、設定サーボ基準電圧に対する前記放電間隙の電圧偏差零のとき設定加工条件の加工速度に応ずる送り速度が設定される減速サーボ制御方式に切換えて所定の寸法・形状精度、及び面粗度出しの加工をする中仕上げ加工工程と、（c）前記中仕上げ加工後、前記電圧パルスを前記電圧パルス供給源と放電間隙との間に挿設した高周波結合トランスによる電流パルス→交流電圧変換によって得られる所定加工条件の高周波交流電圧源に切換えると共にサーボ制御方式を前記減速サーボ制御方式に選定し、かつそのサーボ制御の比例ゲインを前記中仕上げ加工の際の比例ゲインに対して低く切換えて所定の寸法・形状精度及び面粗度出しの加工をする仕上げ加工工程と、を順次に行なう一連のワイヤ放電加工方法とすることにより、又、（2）前記（1）に於ける加工方法に於いて、前記ファーストカット加工工程及び中仕上げ加工工程における直流電源をスイッチ素子によりオン・オフすることにより得られる休止時間を有する間歇的な電圧パルス源が、直流電圧源をスイッチ素子のオン・オフにより電圧パルスを形成する直列回路中に所定の電流制限抵抗を挿設した通常型電圧パルス供給回路と、直流電圧源をスイッチ素子のオン・オフにより電流パルスを形成する直列回路中に電流制限抵抗が挿設されていない、又は電流検出用等の小抵抗以外の電流制限抵抗が挿設されていない無抵抗の電流パルス供給回路とを並設すると共に、該電流パルス供給回路のスイッチ素子が前記通常型電圧パルス供給回路の放電間隙印加電圧パルスにより放電が開始したのを検出して所定時間幅のオン制御させられる電圧パルス源を用いる放電加工方法とすることにより、そして、又、（3）前記（2）に於ける加工方法に於いて、前記仕上げ加工工程に於ける高周波交流電圧源、前記高周波結合トランスの2次巻線から放電間隙へ高周波交流電圧を出力供給するために、前記トランスの1次巻線に供給される休止時間を有する間歇的な電流パルスが前記無抵抗の電流パルス供給回路から供給されるように切換接続及び制御される高周波交流電圧源を用いる放電加工方法とすることにより、より良く達成することができる。

#### 【0009】

【作用】本発明のワイヤ放電加工方法は、前述の構成及び手法で行なわれるものであるから、高周波交流電圧源を加工用電源とする仕上げ加工工程による加工面粗度出し等の加工が、使用する加工液の比抵抗等の性状変化に影響されることなく、即ち寸法・形状精度等を損なうことなく、再現性ある状態で確実に仕上がるようになつた。

#### 【0010】

【実施例】図1及び図2は、本発明加工方法を実施する装置の全体構成説明図で、前記図1は加工送りのための

サーボ制御回路を主とし、又図2は放電加工のための加工用電源回路を主として示したものであり、1は一对の間隔を置いて配置した位置決めガイド2A、2B間を所定の張力を付与した状態で軸方向に更新送り移動させられるワイヤ電極、3は図示しないx yクロスステーブルに載置したワークスタンド4に取り付けられ、ワイヤ電極軸方向と略直角方向から微小放電間隙を介して相対向せしめられる被加工体で、図示しない加工液供給手段による加工液供給介在の下に両者間に印加される間歇的な電圧パルス等の加工電圧により放電を生ぜしめて加工が行なわれるものである。そして、通常荒加工のファーストカット加工工程（第1の加工工程）と、寸法形状精度出しの少なくともセカンドカットを含む中仕上げの（第2の）加工工程の加工のための加工電圧、即ち、間歇的な電圧パルスは、図示した一実施例のワイヤ放電加工用電圧パルス源5から、給電接続線11A、11Bとしての同軸又はシールド線を介し、又、後述する電圧パルス源5と高周波交流電圧源30との切換え開閉スイッチ14を介し、或いは更に、放電間隙近傍の引き回しリード線には、好ましくは縫線を利用するが如くにしてワイヤ電極1と被加工体3間に供給印加される。

【0011】前記電圧パルス源5は、直流電圧源6Aと電流容量に応じ複数個が並列に接続されるMOS-FETトランジスタ等の電子スイッチ素子6Bと電流制限抵抗6C及び逆電圧防止整流器6Dとの直列回路からなる、従来最も通常の間歇的な電圧パルスの生成供給回路6が、放電間隙に並列となるように給電接続線11A、11Bに接続され、前記間歇的な電圧パルスはパルス制御装置7によるスイッチ素子6Bの制御により所望に生成される。即ち、制御装置7の前記スイッチ素子6Bの30制御装置部分としては、スイッチ素子6Bを放電間隙の放電状態検出信号により変更制御をする場合を除き、予め選択設定した一定のオン時間信号 $\tau_{ON}$ とオフ時間信号 $\tau_{OFF}$ とを規則的に交互に繰り返して電圧パルスを供給制御する場合と、スイッチ素子6Bのオン時間信号を放電間隙に電圧パルスの印加開始時より放電間隙で放電が開始するまでの該放電開始遅延期間の閾数とし増大する、即ち各放電パルスの放電持続時間を設定の一定値とするよう電圧パルス印加開始後放電間隙での放電開始時より前記オン時間信号の計測を開始し、計測完了によりスイッチ素子6Bをオフとしてオフ時間に移行させる制御をするもの等があり、以下の説明では、主として前記後者の場合について説明を加えるが、本発明は何等これに限定されるものではない。

【0012】前記電圧パルス源5には、前記スイッチ素子6Bのオン・オフによる加工電圧パルス供給回路6に加えて、該回路6による放電パルスの放電電流振幅I<sub>p</sub>を増大し、延ては加工平均電流を増大させて、加工速度を一段と増加させるためのパルス電流增幅回路または電流パルス供給回路8が、可変直流電圧源8Aとスイッチ50

素子8Bと逆電圧防止整流器8Cとから成る直列回路として回路6と並列に設けられている。この電流パルス供給回路8は制御装置7によるスイッチ素子8Bのオン時に急峻な立ち上がりの高電流を出力するよう、所謂電流制限抵抗がその直列回路中には無抵抗回路、乃至はスイッチ素子8Bの破損防止のために制御装置7に設けられているスイッチ素子8Bの電流制御器7Aの作動のための微小な検出抵抗の他には電流制限抵抗が挿入されていない回路8であって、スイッチ素子6Bのオン時間信号又は前記放電開始よりのオン時間信号は、ワイヤ放電加工に於いては、大きても数 $10\mu S$ 以内、通常数 $\mu S$ 以内であるから、スイッチ素子8Bを回路6による印加電圧パルスにより間隙での放電開始を検出して作動するオン時間信号の間オンさせるようにしても、スイッチ素子8B又は、少なくとも回路8の飽和領域動作への移行時間等の関係から該回路8に電流制限抵抗が設けられていなくても破損を免れ得る場合があるが、上記スイッチ素子8Bの動作領域を不飽和領域と又は、少なくとも回路8の電流がスイッチ素子8Bの飽和電流値よりも充分小さい（通常数分の一）範囲が動作領域となるよう条件設定すれば、該スイッチ素子8Bの破損の問題はなく、かつ該スイッチ素子8B乃至は回路8の電流オフ切れ特性が鋭く、急峻となるから好ましいものである。

【0013】前述の電流パルス供給回路8は、電圧パルス供給回路6と共に電圧パルス源5として、被加工体3に最初に加工溝を形成する荒加工、即ちファーストカット加工工程と、該ファーストカット加工工程後の加工の寸法・形状精度出し加工を行なうセカンドカット加工工程等の1又は複数の加工工程の中仕上げ加工工程迄、即ち前記第1及び第2の加工工程まで加工電圧として間歇的な電圧パルスが用いられるもので、ゲート入力は切換えスイッチ8Eにより制御装置7に接続されていて、例えば前述のような回路6との関連制御が行われるものであるが、該中仕上げ加工工程の加工の終了後、第3の加工工程である高周波交流電圧を用いる加工面粗度出し加工の1乃至複数回の仕上げ加工工程に移行するに際し、電圧パルス供給回路6を必要に応じ開閉スイッチ49で切り離すと共に、前記切換えスイッチ8Eを高周波の間歇パルスのゲート信号回路8D側に切換えて、電流パルス供給回路8を高周波電流パルス発生回路として機能せしめるものである。

【0014】而して、前述の電圧パルス源5を加工用電源としてファーストカットの加工工程と、該ファーストカット加工後のセカンドカット、及びサードカット等の1又は複数の加工工程から成る所定の寸法・形状精度及び面粗度出しの中仕上げ加工の加工工程の実行の際にには、図1及び図2中の全ての切換えスイッチ8E、14、48、及び49は、図示とは逆の接続状態で稼働しており、加工のためのサーボ送り制御回路に放電間隙の放電状態を検出供給する回路31～37が作動する。

【0015】即ち、31は放電間隙電圧検出用分圧回路、32は検出分圧電圧を、必要に応じ半波又は全波増幅する演算増幅器から成る反転増幅回路、33は増幅電圧を整流積分する積分回路、34は積分電圧の反転増幅回路で可変抵抗34Aの調整によりサーボゲイン(利得)を調整する利得調整回路、35は利得が調整された増幅電圧のサンプルホールド増幅器、36はサンプルホールドされた増幅電圧をデジタル信号に変換するA/D変換器、37は変換デジタル信号の次段のNC装置への入出力回路であって、発光素子と受光素子とから成る回路絶縁用のフォトカプラ、38は同時2軸以上の4軸又は3軸の制御が可能な放電加工用NC制御装置やマイクロコンピュータ等を内蔵する制御装置、39はモータドライバ、40はXY2軸、Z軸、あるいはさらにテープ加工用UV2軸のサーボモータである。

【0016】而して、前述のような仕上げ加工や、該仕上げ加工に到る迄の最初の荒加工又はファーストカット加工、次段のセカンドカット加工、あるいはさらにサードカット加工等の中仕上げ加工工程に於ける加工のためのサーボ送り制御の放電間隙の放電状態検出回路又は検出調整回路としては多種多様な物があるが、その1例は、前述図1の31～37の如き構成のものであり、検出放電間隙電圧は、分圧回路31からA/D変換回路36迄で、所望ゲインに応じたデジタル信号に変換され、フォトカプラ37を介し制御装置38に送られて演算され、制御装置38内のNC装置に入力設定手段38Aにより、加工の目的等に応じ、作業者により入力された所望設定電圧又はサーボ基準電圧との偏差に応じ、通常は前記ファーストカットの加工工程では偏差零で、送り速度が零で、その送り方向が反転するゼロメソッドサーボ30制御方式を、又前記中仕上げの加工工程では前記偏差零で設定加工条件の加工速度に応じた送り速度が設定される所定の減速サーボのサーボ制御方式の各加工送りとなるように切換えてサーボモータ40のドライバ39にドライブ制御信号が供給される。

【0017】ところで、斯種高周波交流電圧源による仕上げ加工には、前記高周波電流パルス供給回路8と放電間隙間に設けられた高周波結合トランス13と、前記寸法・形状精度出しの中仕上げの加工工程から加工面粗度出しの仕上げ加工工程に移行する際の回路切換え開閉スイッチ14とから成る函体状のボックスに収納された回路装置12とにより構成される高周波交流電圧源30は、以下の如き構成、及び切換え使用されるものである。高周波結合トランス13は、前記高周波電流パルス供給回路8が出力する間歇的な高周波電流パルス1個、1個を1サイクルの高周波交流電圧に変換するもので、高周波用フェライト等から成る高透磁率のリングコア13Aに1次巻線13Bと2次巻線13Cとが、巻線比が1:1～3、好ましくは1:1～2、巻回数が1次巻線1～5ターン、好ましくは1～2ターン、2次巻線1～50

12ターン、好ましくは1～4ターンの如く、高周波数応答可能に何れも少ない巻数で、かつどちらかと言えば電圧が高くて電流が小さい仕上げ加工用の高周波交流電圧を得る目的から、1次巻線よりも2次巻線の巻回数が同一以上となるように巻回してあるものである。

【0018】次に、前記高周波電流パルス供給回路8の出力と、前記ワイヤ電極1・被加工体3から成る放電間隙間の給電接続線11A、11Bと前記回路装置12の接続と切換え構成に付き説明すると、1次巻線13Bを高周波電流パルス供給回路8の出力と接離する開閉スイッチと2次巻線13Cを放電間隙と接離する開閉スイッチとは、前記高周波電流パルス供給回路8の出力両端と放電間隙のワイヤ電極1と被加工体3夫々の間に接続される給電接続線11A、11Bの回路部分に設けられる給電回路開閉スイッチ14A、14Bと、1次巻線の入力両端を前記給電回路開閉スイッチ14A、14Bよりも高周波電流パルス発生回路8側でその出力線の両方に接続する間の一方又は両方の接続回路に挿設した1次巻線開閉スイッチ14Cと、及び2次巻線の出力両端を前記給電回路開閉スイッチ14A、14Bよりも放電間隙側でワイヤ電極1と被加工体3の両方に接続する間の一方又は両方の接続回路に挿設した2次巻線開閉スイッチ14Dとから成り、前記2つの給電回路開閉スイッチ14A、14Bと、1次巻線及び2次巻線開閉スイッチ14C、14Dとは、前者の開閉スイッチ14A、14Bがオンのとき、後者の開閉スイッチ14C、14Dがオフとなるように互いに逆に開閉せしめられることによりその目的を達成するものであり、前記給電回路開閉スイッチ14A、14Bがオフで、1次及び2次巻線開閉スイッチ14C、14Dがオンのとき、本発明の目的とする高周波交流電圧による仕上げ加工用電源回路が構成されることになる。なお、図示では1次巻線及び2次巻線の各開閉スイッチとして、夫々各1個が設けられた場合で、かつ設けられる切換えスイッチの数を最も少ない数として構成した場合であるが、スイッチの数により種々の切換え回路構成と為し得ることは当然である。

【0019】図3は、図2の加工電源回路を前述の仕上げ加工用電源回路として、即ち、開閉スイッチ49をオフ、切換えスイッチ8Eによりゲート信号回路8Dをオンにして高周波電流パルス供給回路8を機能させ、給電回路開閉スイッチ14A、14Bをオフ、トランス1次及び2次巻線開閉スイッチ14C、14Dを夫々オンとして作動させた場合のタイミングチャートを2サイクル分、ほぼ理想的な波形として示したもので、aは前記間歇パルスのゲート信号回路8Dから出力してスイッチ素子8Bをオン・オフさせる高周波のゲート信号、bは前記ゲート信号に基づき高周波電流パルス供給回路8が出力し、トランス13の1次巻線13Bに供給する電流パルス、cは前記パルス電流に基づき2次巻線13Cに誘起され放電間隙に印加される高周波交流電圧と該高周波

11

交流電圧印加に基づき放電間隙で放電が発生した場合の放電間隙電圧波形、dは同放電間隙の放電電流の例である。そしてこのような電流パルス供給回路8と結合トランジスタ13との組合せによる発生高周波交流電圧の波形成形（通常、急峻で滑らかな正弦波状化、または更にAT<sub>OFF</sub>=0の連続波化等）には、2次巻線13Cと放電間隙の放電回路に直列に所望のインダクタンスを挿入することが有効で、そのための手法としては、所定のインダクタンスを有するコイルを直列に接続すると、電極1又はガイド2A、2B部に於いてワイヤ電極1を囲繞するように高透磁率の磁気コアを設けるようにしても良い。

【0020】前記ゲート信号回路8Dから出力する間歇的なパルスのゲート信号は、本発明の仕上げ加工に於いては、図示ではT<sub>ON</sub>=100nS、T<sub>OFF</sub>=1.0μsで、大凡約T<sub>ON</sub>=50nS～1000nS程度のμsオーダ以下で、T<sub>OFF</sub>=500nS～10μs又は数10μs程度であり、cの交流電圧が相互に繋がるのを限度として、好ましくはAT<sub>OFF</sub>≥0となるよう条件設定をするものである。又、前記高周波電流パルス20発生回路10の出力電流パルス波形bは、スイッチ素子8Bが、又は少なくとも回路8の電流がスイッチ素子8Bの飽和電流値よりも充分小さい立上がり電流の飽和領域作動状態となる前にゲート信号aがオフとなり、スイッチ素子8B、又は回路8の電流切れが高速で行われたものとして示されている。

【0021】又、前記c図の2次巻線13Cの高周波交流電圧は、近時のテストに依れば、外径約5.5mmφ、内径約3.0mmφの、高透磁率Mn-Znフェライトや、Ni-Znフェライト等のフェライトトロイダルコア（例えば、TDK製PC50〔又はPC30〕T40×16×24）を2重積したコア13Aに、断面約3.5mm<sup>2</sup>のテフロン系樹脂被覆導線を1次巻線13B：1ターン、2次巻線13C：2ターンとしたとき、直流電圧源8Aの出力約6.0Vで正負に夫々約1.50～1.70V、電圧源8Aの出力約2.5Vで正負に夫々約6.0～6.5Vで、前述加工面粗度改善の仕上げ加工に適用可能な、好適に高電圧の高周波交流電圧が得られ、放電電流波形dに示す如く、交流電圧1サイクルの初めの半波で放電が発生すると、次の逆極性の半波に於いては統計的に放電が起こることになるが、平均加工電流が1A前後程度より小さい値で仕上げ加工を進行させることができるようになる。

【0022】ところで、斯種高周波交流電圧源による仕上げ加工には、放電間隙、及び該放電間隙廻りの構造物や加工用電圧源給電回路部分等が有する浮遊静電容量の値を仕上げ加工の目的に従い相応に小さくしないと、浮遊容量の充放電による高い放電ピーク電流の放電が混じることになり、該高ピークの放電が混じると、加工面が荒れ、目的とする加工面粗度（約3.5～1.0μmRa）を50

12

x、又はそれ以上）に仕上がるなものである。又、前記のように浮遊容量が充分小さくないと、加えた高周波交流電圧が減衰し、そうでなくとも加工効率がよくない乃至は加工効率が容易に著しく低下することがある高周波交流電圧源による面粗度改善の仕上げ加工の加工効率を低下させることになる。

【0023】このため、前記図1の従来例のサーボ送り制御の放電状態検出回路31～37を備えた仕上げ加工回路は、電極・被加工体間の放電間隙及びその廻りと、高周波交流電圧源30、及び該電圧源30から放電間隙迄の給電回路等の浮遊静電容量を工夫等して所望に低減せしめ得たとしても、前記放電間隙には加工送りのためのサーボ制御用放電状態検出回路として、前記分圧回路31からA/D変換回路36迄の、通常電源装置のボックス内にある電子回路が接続されていて、該電子回路は勿論、その回路構成や構造等によるものの、大凡約100～1000PF前後の浮遊容量を有しており、該検出回路部分の浮遊容量は、前述した高周波交流電圧源30による加工面粗度改善の仕上げ加工に際しての障害となるものである。

【0024】従って、前述の高周波交流電圧源30による仕上げに際しては、加工回路部分の浮遊容量をできる限り少なくすることが必須で、このためには仕上げ加工に際して不使用の加工電源回路部分、電圧パルス源5又は電圧パルス供給回路6を開閉スイッチ49によって切り離す必要があり、また加工電源の制御や加工のサーボ送り制御等の信号として用いられる放電間隙9の前記放電状態検出回路31～37を、特に、考慮された静電容量の少ない構成の放電状態検出回路41～47に開閉スイッチ48によって切換える必要があるものである。上記放電状態検出回路41～47の一例に付き図1より説明すると、41は各種発光ダイオード等の発光素子41Aと、各種光導電素子やフォトダイオード、又はフォトトランジスタ等の受光素子41Bとからなるフォトセンサ、フォトカプラ、又は光電変換素子で、発光素子41Aと受光素子41Bとは電気的に絶縁されており、上記発光素子41Aは無誘導抵抗等の抵抗41Cと直列に接続して放電間隙に直接、勿論リード線等を介してであるが、並列に接続される。43Aはフォトカプラ41出力の積分回路、42は反転増幅回路、44は更に反転増幅して、可変抵抗44Aの調整によりサーボゲインが調整される利得調整回路、43Bは積分回路、45はサンプルホールド増幅回路、46はA/D変換器、又47は出入力回路で、前記回路43Aから回路47の間は前述した従来の検出回路32～37部分と構成上微差があるが、実質上同一のもので、その検出調整されたデジタル信号はNC制御装置等を有する制御装置38に入力して、入力手段38Aの入力設定信号等と所定演算等処理され、サーボモータ40のドライバ39にドライブ制御信号を出力する外、必要に応じ、例えば加工用電源やバッテリー等の電源を供給する回路等を備え得る。

13

ルスの条件、又は加工液供給装置の供給条件等の加工条件を検出信号に応じて制御する制御信号 38B を出力する。

【0025】なお、図に於て発光素子 41A に並列に接続された素子 41D は整流素子であって、発光素子 41A が発光ダイオードの場合に同様な発光ダイオードであっても良く、発光素子 41A の逆電圧に対する耐圧保護のためと、加工用電源として高周波交流電圧源を用いた場合に、該発光ダイオード 41A 部に於ける正負の電圧降下と同一にして発光特性を良好に保つためである。 10

【0026】以上の構成によれば、仕上げ加工に際しては、電極 1 と被加工体 3 とからなる放電間隙には、仕上げ加工用電源としての高周波交流電圧源 30 のみが接続されているだけで、仕上げ加工工程以前の中仕上げ加工等の段階まで使用された、通常形の電子スイッチ素子の制御オン・オフにより休止時間を置いて間歇的に電圧パルスを供給する電圧パルス源 5 は、機械的開閉スイッチ 49 により放電間隙から完全に切り離され、又通常 1 個以上複数個が設けられるであろう放電状態検出回路も機械的開閉スイッチ 48 により静電容量の小さい放電状態 20 検出回路のみが接続されているだけで、放電間隙には抵抗 41C と発光素子 41A との直列回路のみが並列接続されている訳であるから、放電間隙廻り、又少なくとも放電間隙廻り回路網による浮遊静電容量は最も少ない状態にあるわけで、放電間隙廻り回路網による浮遊静電容量による高いピーク電流値のある放電や 1 放電当たりの放電エネルギーが所定値よりも大きくなると言うことは無く、したがって加工面が荒れたりすることはなく、又逆に前記浮遊容量が存在して、前記高周波交流電圧や仕上げ加工パルス等が不測に減衰等されて加工効率を低下させることなく放電状態が検出でき、当該仕上げ加工の送りを好適に、又は所望に制御して加工することができれば、被加工体 3 加工面の太鼓特性や前加工段階までによる加工形状のバラツキ等を所望に制御しつつ加工することができ、所望とする約 3.. 5 ~ 1 μm R max の加工面粗度出し仕上げ加工をすることができるはずである。 30

【0027】又、従来前述の図 1 の加工回路に於いて、放電状態検出回路 31 ~ 37 を用いるとその浮遊容量の存在により、加工効率が悪いだけでなく、加工面粗度を 40 3.. 5 ~ 1 μm R max 、又はそれ以上の面粗度仕上げができず、このため従来約 3.. 5 ~ 1 μm R max 、又はそれ以上の面粗度仕上げのためには、放電状態検出回路 31 ~ 37 を機械的スイッチ等により放電間隙から切り離し、制御装置 38 の NC 装置に設定した或一定速度(通常、前述設定しようとするサーボ基準電圧に対する放電間隙の電圧偏差零のとき設定加工条件による加工速度に応ずる送り速度)で加工するようにしていたものであるが、かかるサーボ制御でない一定速度の加工送りの加工では、被加工体 3 加工面の太鼓特性や形状のバラツキ 50

14

キ等を所望に制御する加工とすることができず不具合であったものである。

【0028】よって、ここで本発明の目的である加工送りサーボ制御方式、そして更にファーストカット加工工程、セカンドカット等 1 又は複数の加工工程から成る寸法・形状精度出し、及び加工面粗度改善の中加工又は中仕上げ加工工程の各加工工程に対する加工送りサーボ制御方式について検討することとする。まず、被加工体 3 に所望輪郭形状の加工溝を形成して行くファーストカット(通常荒加工)の加工工程であるが、全ての加工工程中最大の加工取り量であるから、加工面粗さ及び寸法・形状精度は次工程以後の加工工程で修正可能な範囲として加工速度をできるだけ早くすることが望まれる訳であり、斯様な加工のサーボ制御方式としては、送り速度が放電間隙(平均)電圧に比例し、設定サーボ基準電圧に対する間隙電圧の偏差零のとき送り速度が零となって送り方向が反転する所謂ゼロメソッドサーボ制御方式が適合しているものである。

【0029】図 4 は、かかるゼロメソッドサーボ制御方式の実施例特性曲線の説明図で、縦軸に送り速度 F (mm/min) 、横軸に間隙電圧(加工平均電圧) V G (V) を取り、或る設定加工条件の時の設定サーボ基準電圧 S V 、正転加工送りと逆転後退送りの最高速度士 F p として、利得特性が間隙電圧との偏差の大きさによって異なる A 、 B 2 種類の特性曲線を示しているが、曲線 A 、 B とも全体として送り速度が間隙電圧に比例するが、設定サーボ基準電圧 S V に対する間隙電圧の偏差零のとき送り速度が零となり、かつ該サーボ基準電圧 S V を境いとして間隙電圧が高いときは正転加工送りと、逆に間隙電圧が低いとき逆転後退送りとなるように送り方向が反転する特性となっているものである。

【0030】ところで、図 5 は縦軸に加工速度(時間当たりの加工送り速度) M S 、横軸に放電間隙電圧(平均加工電圧) V G を取った平均加工電圧に対する加工速度の特性曲線図を示すもので、間隙電圧 V G 0 の時加工速度最大は、放電間隙に所定の設定された休止時間 τ OFF を置いて供給されるパルス幅 τ ON の電圧パルスの印加開始と同時に少しの遅延もなく放電を開始し、設定加工パルス条件通りの放電を 1 つの無放電もなく次々とした場合を想定して示したものである。そして従来の加工条件の選択設定方式によれば、間隙電圧が上記電圧 V G 0 よりも低い領域は間隙が短絡状態の領域で、この電圧 V G 0 の前後の領域で間隙はアーク放電状態であり、サーボ基準電圧 S V は前記放電間隙へ供給される電圧パルスが平均的に、例えば約 70% 前後が放電する間隙長が維持される電圧値に S V が設定される訳である。而して、加工速度を大きくするには、サーボ基準電圧 S V を低くし、電圧 V G 0 に近づけ、放電間隙長を狭くして加工をしようとする訳であるが、設定サーボ基準電圧 S V が電圧 V G 0 に近い設定で、サーボの利得を大きくすると、

15

慣性による送り過ぎる等もあってショートやハンチングが起こり易く不安定となるから、放電間隙電圧（平均加工電圧） $V_G$ がサーボ基準電圧 $S V$ に対する偏差零のとき送り速度が零となるゼロメソッドサーボ制御方式が、ファーストカット加工工程のサーボ制御方式として合致しているものである。

【0031】次に、セカンドカット及びサードカット加工等の1又は複数加工工程の寸法・形状精度出し、及び加工面粗度改善の中仕上げ加工に於いては、  
ファーストカット加工で加工形成された一方の加工面に10  
に対する一種の面取加工である所から、加工取り量は少なく、設定される電気的条件は相違するが、ファーストカット加工工程で使用した同一型式の加工用電源、即ち休止時間を有する間歇的な電圧パルスの発生供給方式の電源を用いると、セカンドカット加工工程の所要加工取り量に対し、加工電源の設定された加工条件では加工エネルギー、加工能力、加工速度的には余裕がある状態にある。

【0032】所で、このセカンドカット加工等の中仕上げ加工工程は、加工面粗度の改善もさることながら、太20  
鼓量の調整及び修正を含む寸法・形状精度を出す加工のためには、加工平均電圧が常に一定となる加工状態を確保することが必要となる。即ち前後のファーストカットの加工工程により加工形成された加工面は部分的にランダムに寸法・形状誤差があり、従って加工の進行経路の加工部に於いて加工の取り量に変化が有る訳であるが、この加工取り量に変化があつても平均加工電圧（=放電線返し周波数）を一定とするためには、送り速度が変り得るサーボ制御特性とする必要があるものである。

【0033】従って、一般的に加工エネルギーに余裕が30  
あり、そして余程のことがない限り、加工送り速度が零になるとか、後退送りが生ずることがなく、或る速度（通常設定された電気的加工条件の加工速に従う送り速度）で送り続けながら加工が進行する表面加工の中仕上げ及び仕上げ加工では、サーボ制御方式として、前記ゼロメソッドサーボ制御方式に替え、送り速度が放電間隙電圧に比例し、設定サーボ基準電圧に対する放電間隙電圧の電圧偏差零のとき設定加工条件の加工送り速度に応ずる送り速度が設定される減速サーボ制御方式を採用することが加工精度向上に必要となるが、そのサーボ制御40の特性として、加工取り量に応じて送り速度が変化し、平均加工電圧が一定になるように作動することが好ましく必要となるものである。

【0034】図6は、前述図4と同様な座標図中に或る種の特性の減速サーボ特性曲線C及びEと、一定速度送りの特性曲線Dを示した説明図で、設定サーボ基準電

16

圧 $S V$ に対する間隙電圧の偏差零のとき、加工しようとする中仕上げ又は仕上げ加工時の設定加工条件に応ずる加工速度と、その加工での加工取り量に応じた送り速度 $F S$ が設定され、減速サーボ制御方式の特性曲線C及びEはこのサーボ基準電圧 $S V$ と設定送り速度 $F S$ との交点を通る右肩上り、即ち送り速度が間隙電圧（平均加工電圧） $V_G$ に比例する加工送り特性で、その右肩上りの角度、又は前記比例定数が調整又は選択設定の可能なサーボ利得（又はゲイン）である。そしてこの減速サーボ制御方式の場合、間隙電圧がサーボ基準電圧 $S V$ より或る程度以上低くなると送り速度は零となって加工送りが停止し、そして更に間隙電圧 $V_G$ が低下して間隙短絡又は予め定めた後退電圧 $V_B$ に達すると送り方向が反転して後退するものである。そして、前記セカンドカット加工等のファーストカット加工工程後の寸法・形状精度出し、及び加工面粗度改善の1又は複数の加工工程の中仕上げ加工工程に於いては、その減速送りのサーボ制御は加工取り量が或る程度変化しても、送り速度が迅速に対応変化して平均加工電圧が一定となることが必要なものであるから、右肩上りの角度が大で、比例定数大の大きな利得特性の減速サーボ制御特性曲線Cを選択設定して、その中仕上げ加工を実行することにより被加工体の寸法・形状精度が迅速確実に仕上がるものである。

【0035】之に対し、上記中仕上げ加工後の高周波交流電圧源30を加工用電源とする主として加工面粗度出しの仕上げ加工工程に於いては、前記高周波交流電圧源30から成る加工用電源は一般的に加工エネルギー的に又加工能力的にあまり余裕はなく丁度程度に設定されていて、前述の如く加工回路部分の浮遊容量が充分小さくなるように加工電圧パルス回路を切り離したり、放電間隙状態検出回路を切換えること等が必要となる丈でなく加工条件、特に水系加工液の特性変化等間隙条件の変化によって種々大きな影響を受けるものである。そしてこの点に付いても、先に説明したように、加工液供給系の不調により加工液の比抵抗が所定値よりも低下したり、加工屑濃度の不整による加工間隙の抵抗変化が生ずると、高周波交流電圧が加えられる放電間隙の電圧は見掛け上低下し、このため加工送りのサーボ制御方式として、上述セカンドカット等の中仕上げ加工工程に好適な曲線Cの減速サーボ制御を採用すると加工送り速度が容易に遅くなり過ぎたり又は停止等して加工量過多となり、例えばポンチ切抜き加工では、加工面粗度はほぼ仕上がるとしても寸法・形状が所定値より小さく、寸法精度を損なうことが少なくないのである。

【0036】

【表1】

表 1

| 加工液の比抵抗値<br>(Ω・cm) | Cの減速サーボ時<br>の寸法誤差<br>(μm) | Dの一定速度サー<br>ボ時の寸法誤差<br>(μm) | Eの減速サーボ時<br>の寸法誤差<br>(μm) |
|--------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| $10 \times 10^4$   | +3.4                      | -1.0                        | +1.5                      |
| $5 \times 10^4$    | -1.0                      | +0.6                        | +1.0                      |
| $2 \times 10^4$    | -20.6                     | +4.0                        | +0.7                      |
| 比抵抗の違いによ<br>る最大寸法差 | 24.0                      | 5.0                         | 0.8                       |

【0037】この点に付き更に説明すると、表1に比抵抗値が異なる加工液を用い、加工送りのサーボ制御方式及びその利得等の特性として前記図6の中仕上げ加工において好適な利得特性の減速サーボ制御方式C、従来より仕上げ加工の際に用いられることが多かった一定速度のサーボ制御方式D、そして後に説明する本発明に採用された利得特性の減速サーボ制御方式Eの各加工送り方式により高周波交流電圧源30を用いて仕上げ加工を行なった寸法誤差（各値は所定寸法値に対する誤差の10点平均値）を示している。表1の加工データによれば、20 Cの減速サーボ制御方式の場合には、前述指摘のように加工液の比抵抗値の相違による加工の寸法誤差の振れが大きく、特に比抵抗値の低下時の前述加工量過多には寸法精度の変化の幅が大きく、之に対しDの一定速度サーボ制御方式によれば、概して傾向的には似ているものの可成り寸法精度は高いが、比抵抗値低下時の前述加工量過少現象により加工精度は可成り低下している。

【0038】而して、上記Dの一定速度サーボ制御方式のサーボ利得を一応零と看做し、その時の最大寸法差約5μmに対し、Cの減速サーボ制御方式のサーボ利得を30或る間隙電圧の時の送り速度の差 $1_1$ とし、その時の最大の寸法差約24μmを対比し、寸法差の比 $5 : 24 = 1 : 5$ からCの減速サーボ制御方式のサーボ利得 $1_1 (= 41 \text{ mm/m i n})$ の約 $1/5$ のサーボ利得 $1_2 (= 8 \text{ mm/m i n})$ の特性の減速サーボ制御方式Eを構成設定して加工を行なった所、前述表1に示すように、加工液の比抵抗値が或る程度変化、低下しても寸法精度があまり変化せず高精度の加工が行われるようになった。なお、多くの実験によれば上記Eの減速サーボ制御方式のサーボ利得 $1_2$ は上述の比率が利得零の一定速度を基準としたものであるためか上述の場合よりも大きい（ $1_1 : 1_2 = 4 : 1$ に近い）設定の方が加工データがよかつた。

【0039】図7は、前述Eの減速サーボ制御方式の加工送りを実行するための放電状態検出回路の実施例の部分図で、前述図1に於いて切換えスイッチ48、49が高周波交流電圧源30の側及び放電検出回路41～47の側に切換えられて、中仕上げ加工面に対し加工面粗度出しの仕上げ加工をする際の前記サーボ制御回路41～47中の反転増幅及びサーボゲイン調整の利得調整回路50

44部分を拡大したもので、前述ボリューム可変抵抗44Aに対し、抵抗44B-1～nと該抵抗を切換選択するスイッチ44C-1～nを設けて増幅度を切換え、所望の利得特性が容易に選択設定できるようにしたものである。なお複数の電圧源44D-1～nとその選択切換スイッチ44E-1～nは、当該利得切換設定の演算増幅器部分でサーボ基準電圧データが切換え設定できるよう構成した例を示したものである。

【0040】又、図8は前述Eの特性の減速サーボ制御方式の加工送りを実行するためのサーボ制御を前記図1中のNC制御装置等を有する制御装置38部分で行なうように構成したブロックダイアグラムの説明図で、前記制御装置38は前述ファーストカット加工工程の際に選択設定により用いられるゼロメソッドサーボ制御方式の制御信号を入力サーボ基準電圧データ38Aと放電状態検出回路31～37による放電間隙データとから演算して制御信号を出力するゼロメソッド・演算器38C-1、同じくセカンドカット等1又は複数加工工程の中仕上げ加工工程に於いて、サーボ基準電圧データ38Aと放電状態検出回路31～37による放電間隙検出データとから演算して利得特性の高い、又はサーボゲインの大きい減速サーボ制御方式の制御信号を出力する減速サーボ①演算器38C-2、及び仕上げ加工工程に於いてサーボ基準電圧データ38Aと放電状態検出回路41～47による放電間隙検出データとから演算して利得特性の低い、又は低いサーボゲインの減速サーボ制御方式の制御信号を出力する減速サーボ②演算器38C-3とを備え、該各演算器38C-1～3は、前述各加工工程毎の開閉スイッチ8E、14、48、49と共に切換手段38Dにより切換え選択され、所定の制御信号をモータドライバ39に出力する。

【0041】以上、本発明の放電加工装置に付き、図示した実施例により説明を加えたが、本発明は特許請求の範囲に記載する本発明の精神を逸脱しない範囲で各部に各種の変更を加えて実施し得るものである。例えば、図2に於いて、電流パルス供給回路8が設けられていない形式のワイヤ放電加工用電源回路の場合は、間歇電圧パルス発生回路6の電流制限抵抗6Dを短絡等させる抵抗低減回路を付設し、スイッチ素子6Bのゲート信号回路にゲート信号回路8Dを切換え接続する構成としても良

19

く、又ゲート信号回路 8 D は、パルス制御装置 7 内にその一部の構成として内設構成し得るだけなく、さらに制御装置 7 内に於いて、記憶した切換制御データ読み出す等してソフト的に切換え作動せしめ得るものであり、又更に、仕上げ加工用高周波交流電圧の更なる高周波化、例えば 2 MHz とするために、例えば電流パルス供給回路 8 を 2 組並列に設け、例えば夫々を  $\tau_{ON} = 10$  0 ns で、 $\tau_{OFF} = 900$  ns の 1 MHz の高周波 (電流) パルス発生回路の 2 組を約 180° ( $\pi$ ) 位相差を有せしめて、高周波交流電圧の 1 サイクルが約 50 10 0 ns 以内で終了するように調整すればよく、又更に前記高周波交流電圧源としても、これを通常の例えれば、トランジスタインバータ方式の高周波交流電圧源とし、之を整合回路を介して放電間隙に接続する方式のものも用い得るものであり、又更に、加工用電源を開閉スイッチ 4 9 による切換えにより間歇的な電圧パルス源 5 に切換えて、荒加工とか中加工等を使用とする場合、前記電圧パルス源 5 の電源形式等にもよるが、その場合は図示の如く放電状態検出回路を開閉スイッチ 4 8 により従来の検出回路 3 1 ~ 3 7 に切換える場合の外、放電状態検出回路 4 1 ~ 4 7 をそのまま使用するとか、或いは又該回路 4 1 ~ 4 7 が荒加工等の加工の障害とはならないから、該回路 4 1 ~ 4 7 はそのまま接続した状態としておいて、従来の検出回路 3 1 ~ 3 7 を稼働させる接続構成としても良くかかる構成変更は本発明の各部に於いて可能なものである。

## 【0042】

【発明の効果】本発明のワイヤ放電加工方法は、上述のような構成であるから、高周波交流電圧源を加工用電源とする仕上げ加工に際し、該加工用電源と共にサーボ制御等の放電状態検出回路が切換えられ、又加工送り速度が前記検出回路による間隙電圧検出信号に比例し、設定サーボ基準電圧に対する放電間隙の電圧偏差零のとき設定加工条件の加工速度に応ずる送り速度が設定される減速サーボ制御方式で、かつそのサーボ制御の比例ゲインを中仕上げ加工工程のそれよりも低い値に切換え設定して行なうようにしたから、加工液の比抵抗等の性状変化に影響されることなく、寸法・形状精度を損なわないで目的とする面粗度出しの仕上げ加工を確実に行なえるようになった。

## 【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明のワイヤ放電加工方法の各加工工程に於いて用いる放電状態検出回路部分を主として示した一実施例の放電加工回路図。

【図 2】本発明のワイヤ放電加工方法の各加工工程に於いて用いる加工用電源回路部分を主として示した実施例の放電加工回路図。

【図 3】図 2 の回路を仕上げ加工用電源回路として作動させたときの加工用高周波交流電圧のタイミングチャート図。

【図 4】ゼロメソッド方式のサーボ制御送り特性説明用特性曲線図。

【図 5】ゼロメソッドサーボ制御のサーボ基準電圧設定を説明する加工速度の特性曲線図。

【図 6】減速サーボ制御方式のサーボ制御送りの特性説明用特性曲線図。

【図 7】減速サーボ制御方式のサーボ利得の切換設定を放電状態検出回路部分で行なう一実施例の回路部分図。

【図 8】減速サーボ制御方式のサーボ利得の切換設定をサーボ制御方式の切換え設定と共に行なう一実施例のブロックダイアグラム部分図。

## 【符合の説明】

- 1, ワイヤ電極、加工用電極
- 2 A, 2 B, 位置決ガイド
- 3, 被加工体
- 4, ワークスタンド
- 5, ワイヤ放電加工用電圧パルス源
- 6, 電圧パルスの生成供給回路
- 6 A, 直流電圧源
- 6 B, 電子スイッチ素子
- 6 C, 電流制限抵抗
- 6 D, 逆電圧防止整流器
- 7, パルス制御装置
- 8, 電流パルス供給回路
- 8 A, 可変直流電圧源
- 8 B, 電子スイッチ素子
- 8 C, 逆電圧防止整流器
- 8 D, ゲート信号回路
- 8 E, 切換えスイッチ
- 11 A, 11 B, 給電接続線
- 12, 回路装置
- 13, 高周波結合トランス
- 13 A, リングコア
- 13 B, 1 次巻線
- 13 C, 2 次巻線
- 14 A, 14 B, 14 C, 14 D, 開閉スイッチ
- 30, 仕上げ加工用電源
- 31, 放電間隙電圧検出用分圧回路
- 32, 42, 反転増幅回路
- 33, 43 A, 43 B, 積分回路
- 34, 44, 利得調整回路
- 35, 45, サンプルホールド増幅器
- 36, 46, A/D 変換器
- 37, 41, 47, フォトカプラ
- 38, 制御装置
- 38 C - 1 ~ 3, サーボ演算器
- 38 D, 切換え手段
- 39, モータドライバ
- 40, サーボモータ
- 41 A, 発光素子

#### 4.1 B. 受光素子

41C. 抵抗

4 1 D, 整流器

#### 4.4 B-1~n, 利得抵抗

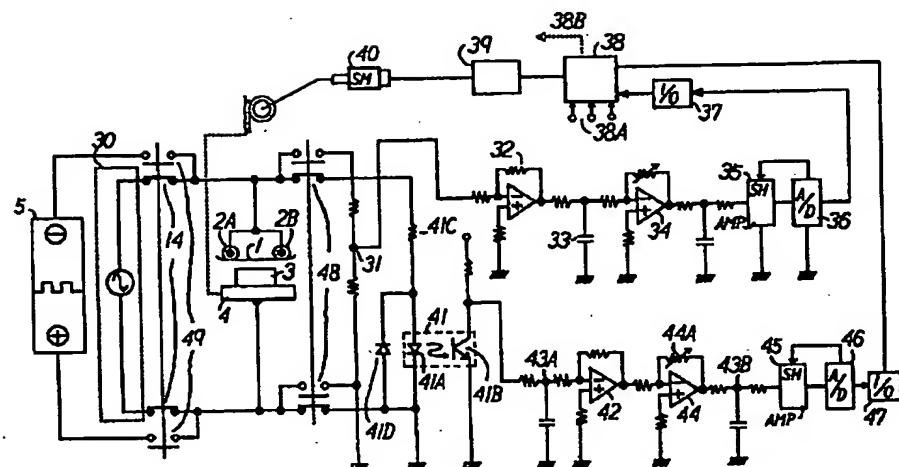
#### 4.4 C-1～n、利得選択スイッチ

#### 4.4 D-1～n, サーボ基準データ電圧源

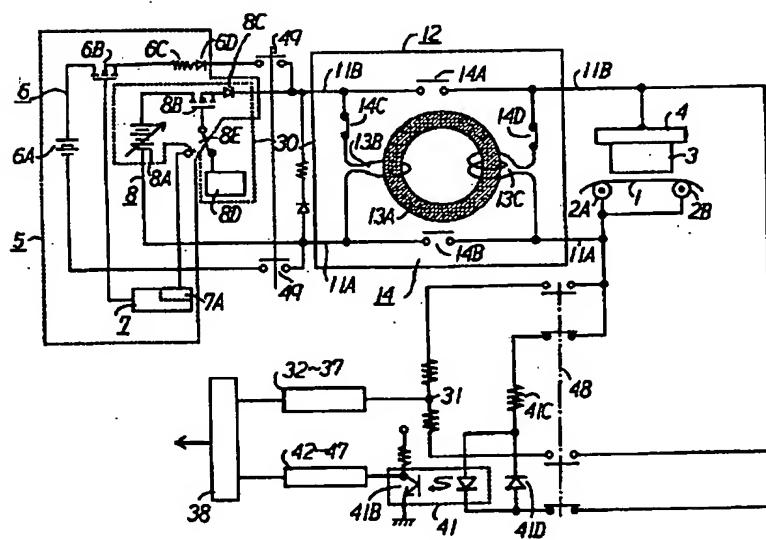
4 4 E-1~n, 基準データ切換スイッチ

## 48, 49, 開閉スイッチ

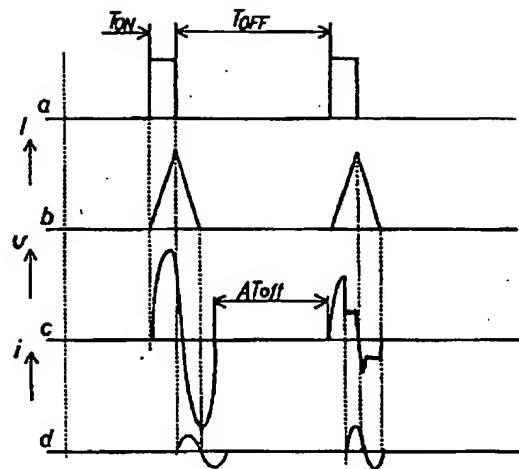
【図1】



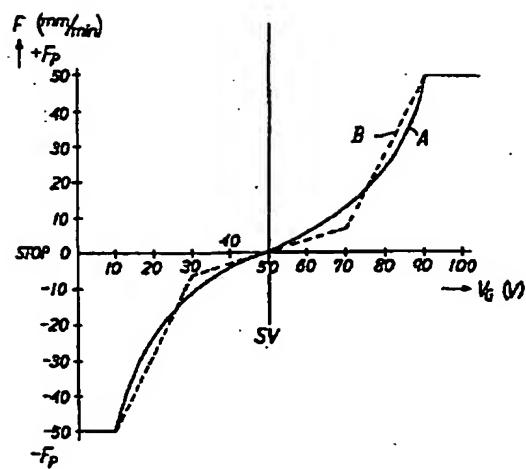
【图2】



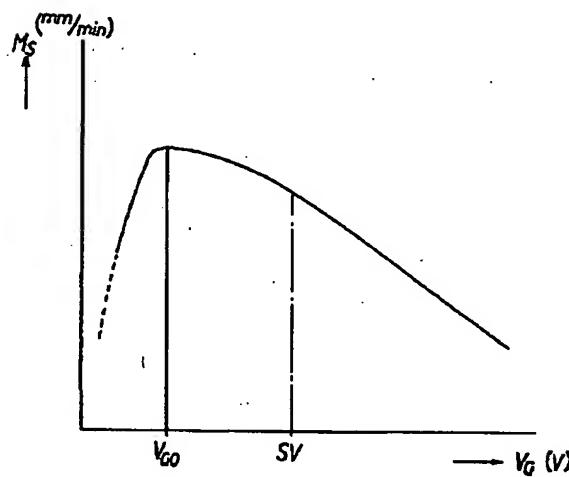
【図 3】



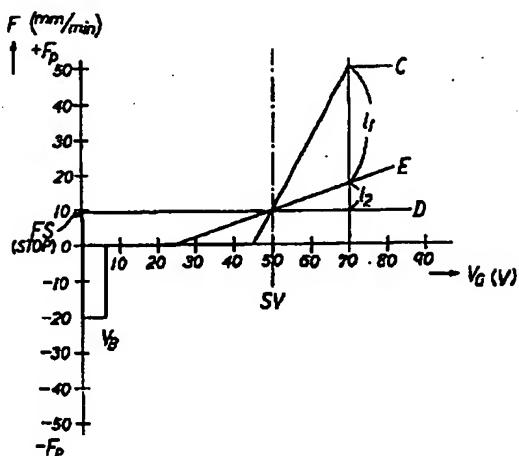
【図 4】



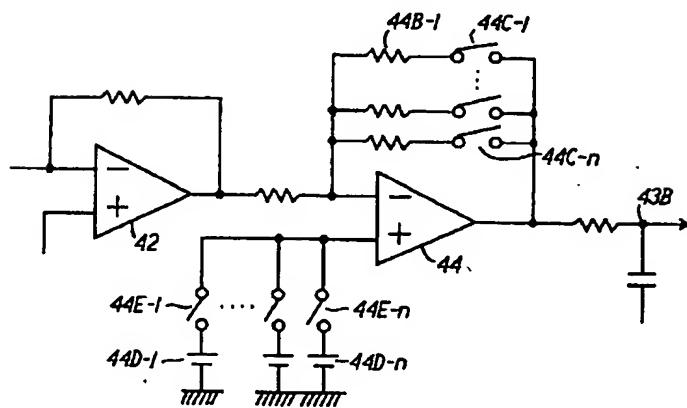
【図 5】



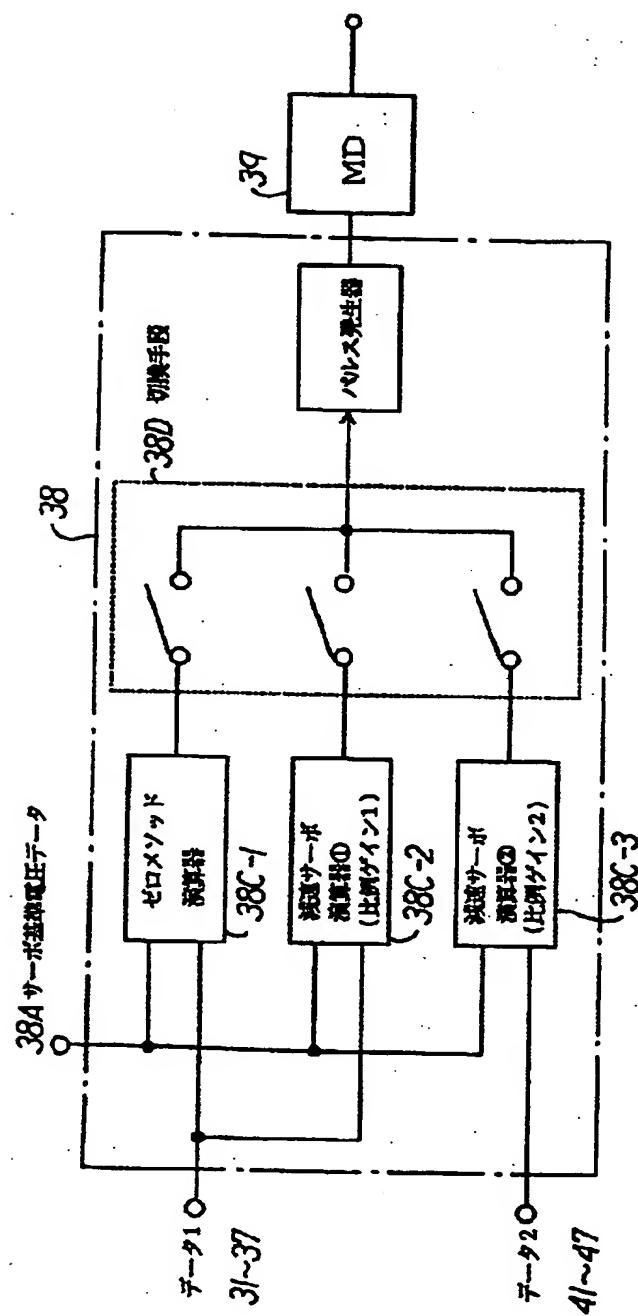
【図 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

(58) 調査した分野(Int. Cl. 7, D B名)

B23H 7/06

B23H 7/02

B23H 1/02